

# サイクロンリスク証券化に関するリスク移転効率の検討

## Study on Risk Transfer Efficiency in Cyclone Risk

○渡部 弘之<sup>1</sup>, 矢代 晴実<sup>1</sup>, 福島 誠一郎<sup>2</sup>  
 Hiroyuki WATABE<sup>1</sup>, Harumi YASHIRO<sup>1</sup> and Sei'ichiro FUKUSHIMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>防衛大学校 建設環境工学

Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy

<sup>2</sup>㈱リスク工学研究所

RKK Consulting Co.,Ltd.

Recently, the alternative risk transfer ("ART") has been known as a useful risk management tool in the risk financing to diversify the natural catastrophic risk that retained by the insurers and re-insurers to issue the Cat-bond. Usually the parametric trigger based CAT-bond linked to natural phenomena such as an earthquake magnitude and a central pressure of the hurricane is popular product in the market due to their transparency for the investors as a risk taker. For the designing of the CAT-bond, the efficiency of the risk transferring is key factor to measure the effectiveness of the Cat-bond. In the study, we studied the efficiency of the risk transferring to vary the parameters such as a center pressure difference, a gate size of the cyclone passing etc.

**Key Words :** Risk Finance, Alternative Risk Transfer, Catastrophe Bond, Insurance Linked Security, Parametric Trigger, Cyclone Risk, Natural Disaster, Wind Damage

### 1. はじめに

ハリケーンや地震等のリスクファイナンス分野では1990年代後半より再保険マーケットの保険引き受けキャパシティの収縮等を背景とし、元受保険会社は伝統的な再保険に代わり金融・資本マーケット等の保険マーケット以外の資金を活用したキャット・ボンド（巨大災害債権Catastrophe Bond）に代表される代替的なリスク移転手法を活用してきた。

本検討ではリスク移転手段として、投資家（リスクティマーク）にとって客観性の高いパラメトリック・トリガーに基づいたキャット・ボンドの発行によるサイクロンリスク証券化を検討した。すなわち、予め定めた地域を一定規模以上の中心気圧を有するサイクロンが通過した場合を条件としたパラメトリック・トリガー（リスク移転要件）を設定し、トリガーが発動しない場合には、リスクヘッジマー（発行体側、保険会社）はリスクティマークに対して所定のクーポンを支払うが、万一、トリガーが発動した場合には、リスクヘッジマーの蒙る損失は、リスクティマークの元本を没収することにより補填される仕組みを想定する。ここでは、過去、度々サイクロンによる被害を蒙っているインド西部のグジャラート州を対象地域とし、リスク移転の条件となるサイクロンの中心気圧差 ( $\Delta p$ ) や通過位置等の諸パラメータで構成されるパラメトリック・トリガーを仮定し、リスク移転の効率性等について考察を加えた。さらにトリガー条件として従来型のサイクロン通過ゲートに加え、新たなゲートを追加することで、リスク移転効率をより高める方法についても検討した。

### 2. サイクロンリスクの評価方法

既報<sup>1</sup>にて、インド西部のグジャラート州におけるサイクロンについて風災ハザードを作成、リスク解析用の確率モデルを検討した。過去 30 年間にグジャラート州

に襲来した一定規模以上のサイクロンを対象にその中心気圧差、進行速度、進行角度等のパラメータに関する統計的な特性を分析し、これらを基にモンテカルロミュレーションを仮想海岸線上に仮想的にサイクロンを生成した。これらのサイクロンによる州内の任意の地点における予想最大瞬間風速を求め当該地域における風災ハザードを推定した。さらに、建物構造別に設定した最大瞬間風速に対する建物損傷度との関係を示すバルネラビリティ・カーブを用いて仮想建物ポートフォリオに対する風災リスク量を算出した。

本検討では、この確率モデルを活用し、グジャラート州の 29 のディストリクトの中心部に人口分布で重み付けた価額を有する建物ポートフォリオを設定した。図 1 に設定した建物ポートフォリオの配置状況を示す。

$$W_1 + \dots + W_i + \dots + W_n = 10000000 \quad (1)$$

ここで  $W_i$  は設定したポートフォリオの  $i$  番目のディストリクトの資産価格、 $n$  はディストリクト数で 29 である。

既報<sup>1</sup>にて当該地域における過去のサイクロンの上陸頻度を算定しているが、この上陸頻度がポアソン過程に従うと仮定し、十分に稀な事象を発生させるためにシミュレーション期間を 10,000 年と設定した。ここで得られた仮想サイクロンの通過時に各ディストリクトにおける建物群の損失額およびポートフォリオ全体の損失額を算定した。式(2), (3)にて損失額の算定式を記す。

$$L(i, j) = \sum_i D(Vi, j) * Wi \quad (2)$$

$$R(i, j) = \sum_i \sum_j L(i, j) \quad (3)$$

ここで、 $D(Vi, j)$  は既報<sup>1</sup>のルネラビリティ・カーブ<sup>2</sup>の関数を示し  $i$  番目の仮想サイクロンでの  $j$  番目のディストリクトにおける最大瞬間風速  $Vi, j$  による建物の損傷率、 $L(i, j)$  は  $i$  番目の仮想サイクロンによる建物ポートフォリオの損失額、また、 $R(i, j)$  は全てのサイクロンによる建

物ポートフォリオの損失額の総和となる。式(2), (3)による損失額をシミュレートし、さらにこのポートフォリオに対する風災リスク量を算出し、表 1 のように検討の基礎データとした。

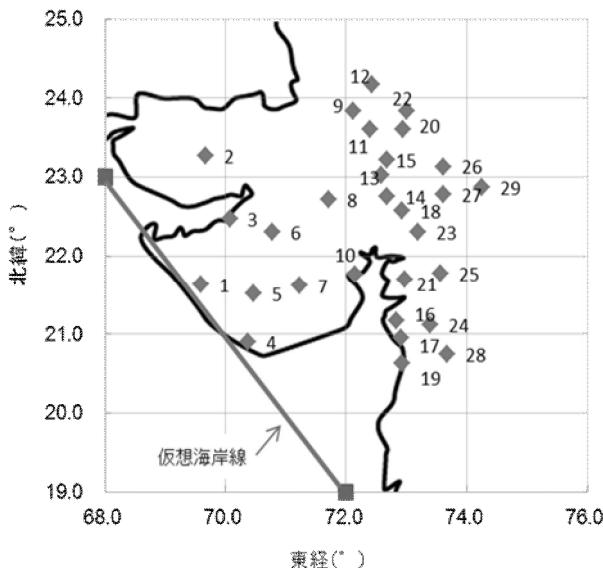


図 1 建物ポートフォリオの配置状況

表 1 設定したポートフォリオとリスク量

項目	設定条件および計算結果
建物構造	Unburned Brick Wall/Sloping Roof
評価対象ディストリクト数	29
ポートフォリオの総額	10,000,000
損失期待値(損失の平均)	70,006
損失の99percentile値	435,482
PML(損失の99percentile Shortfall値)	1,004,406

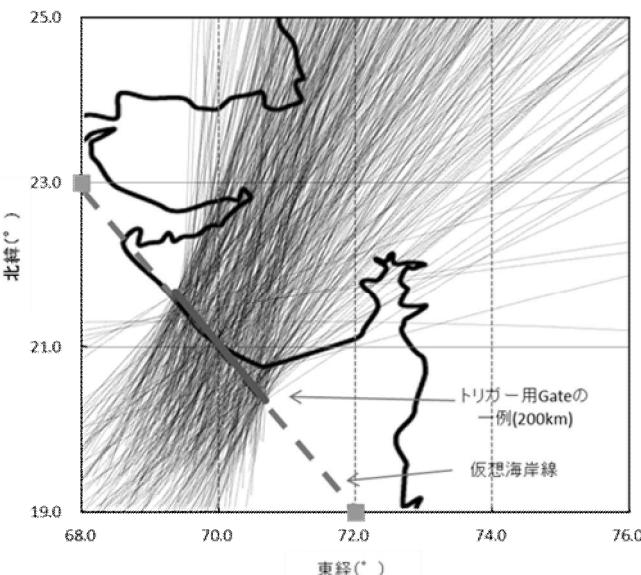


図 2 設定したトリガー用ゲート

トリガー発動要件としては、図 2 に示すようにグジャ

ラート州の海岸線上に設定したハザード解析用ゲート上に、可変的にゲート幅の異なるトリガー用ゲートを設定し、一定規模を上回る を有したサイクロンがこのゲートを通過した場合を要件としたトリガーを設定し、リスク移転額については予め取り決めた元本と で定められる元本没収率により算定することとした。

トリガー設定のパラメータは、トリガー用ゲートのサイズ、中心気圧差の閾値、設定元本の 3 つである。これらのパラメータを変化させ、リスク移転前後のリスク量の対比およびリスク移転の効率性の変化を調べることとした。設定した元本没収関数を図 3 に示す。

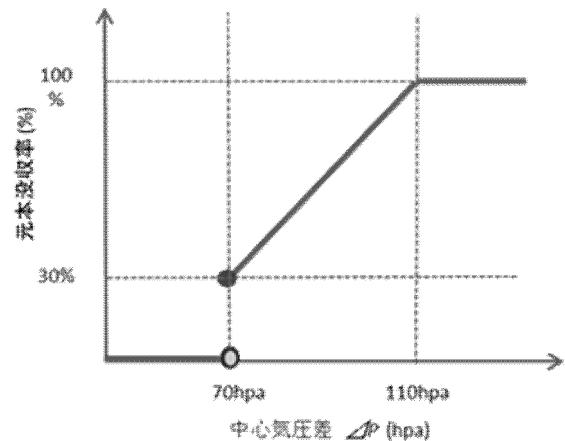


図 3 設定した元本没収関数

### 3. パラメトリック・トリガー設定に関わる諸パラメータの変化とリスク移転効率

一般的にリスクファイナンスの目的は、リスクヘッジヤーがリスクコストを負担することで自らが抱えるリスク量を低減することにある。ここでは、当該ポートフォリオの PML (予想最大損害額) を低減させることを主眼とする。PML の定義は 99percentile Shortfall 値、すなわち、 $L(i, j)$  の上位 1% の損失の期待値とし、これを効率的に低減することを目的とする。なお、PML は自然災害のリスクティカーである保険会社等がリスク管理のために用いる指標である。

次にリスク移転の効率性であるが、サイクロンイベントによっては、 $\Delta p$  等のトリガー条件を満たすものの、リスクヘッジヤーの蒙る実損失は小さく、投下されたリスクコストが PML 低減に寄与しないケースもある。リスク移転の効率性を示す指標としては、リスクヘッジヤーがサイクロンリスク証券化のために充当したリスクコスト (すなわち投資家であるリスクティカーへ支払うクーポン) が、どの程度、PML 低減に用いられたかを示すものとして、PML 低減額とリスクコストの比によって示すこととした。すなわち、年間平均リスクコストは以下で定義する。

$$RC = \sum_k C \cdot r(k) / 10000 \quad (4)$$

ここで、 $C$  は設定元本、 $r(k)$  は設定条件 (中心気圧差、設定ゲート) を満たした際の元本没収率(%)、 $k$  は設定条件を満たしたイベント、定数 10000 は設定したシミュレーション期間であり、10000 年を示す。よってリスク移転効率を示す指標  $E$  は以下で定義される。

$$E = \Delta PML / RC \quad (5)$$

ここで、 $\Delta PML$  はリスク移転前後の PML の差である。また同時にリスク移転実施前後の PML 低減率についても検討した。

#### 4. 従来型のゲート設定における検討結果

パラメータであるゲートサイズをハザード解析用ゲートの中央部より 20km 刻みで増加させながら、設定元本及び閾値として  $\Delta p \geq 70 \text{ hPa}$  を変動させ、リスクコストの比率及び PML 低減率との関係を調べた。

まず、 $\Delta p$  を固定し、設定元本を変動させたケースを図 4 に示す。これによれば、証券化によりリスクヘッジヤーが大きな PML 低減率を得ようとするためには、ゲートサイズを大きく、かつ設定元本を大きくする必要があるが、その場合、リスク移転効率は低下することが判った。いたずらにゲートサイズを大きく設定することや大きな元本の設定はリスク移転の効率の低下を招くことに繋がる。また、リスクヘッジヤーが目標とする PML 低減率を得ようとする場合でも、設定元本とゲートサイズの選び方により移転効率の高い選び方があることが判る。

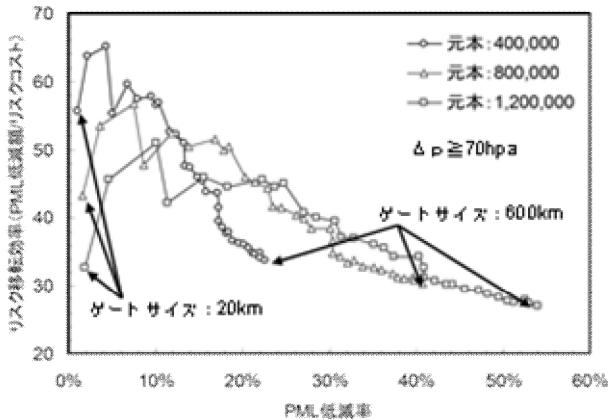


図 4 ゲートサイズと元本のリスク移転効率に及ぼす影響

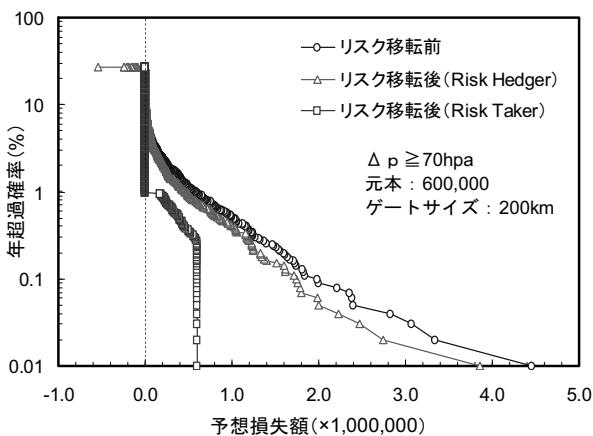


図 5 リスクヘッジヤーとリスクティイカのリスクカーブ

また、設定元本を 600,000、ゲートサイズを 200km と一定とした場合のリスク移転前後のリスクヘッジヤーとリスクティイカの関係を図 5 のリスクカーブにて示す。これによるとリスク移転前のリスクカーブ（リスクヘッ

ジャー）はリスクティイカから補填された元本により相対的に左側へシフトし、リスク移転前よりもリスク量が減少しておりリスク移転が行われていることが確認できる。一方、リスクティイカのリスクカーブは、設定元本 600,000 を上限とし、設定した元本没収関数の形状を反映したリスクカーブとなっている。なお、リスク移転後のリスクヘッジヤーのリスクカーブは予想損失額がゼロ未満となる領域にも及んでいるが、これはリスクティイカから補填された元本が実際の損失額を上回る、過補填の状況、すなわち予想損失額と補填額の差であるベーシスリスクを示すものである。無駄なリスクコストを減らすためには、このベーシスリスクを極力小さくすることが必要である。

#### 5. 新たなゲート設定における検討結果

トリガー条件を満たすサイクロンであるにも関わらず損失額が低いケースが見られる。図 6 のようにポートフォリオの非集中地域をサイクロンが通過した場合には勢力は強くとも被害が発生しないため損失額も低くなっている。これらのサイクロンの経路は仮想海岸線に対する反時計回りの上陸角度が大きいものとなっている。これらのサイクロンをトリガー設定条件を変えることにより排除することで、リスク移転効率は向上することが期待できる。

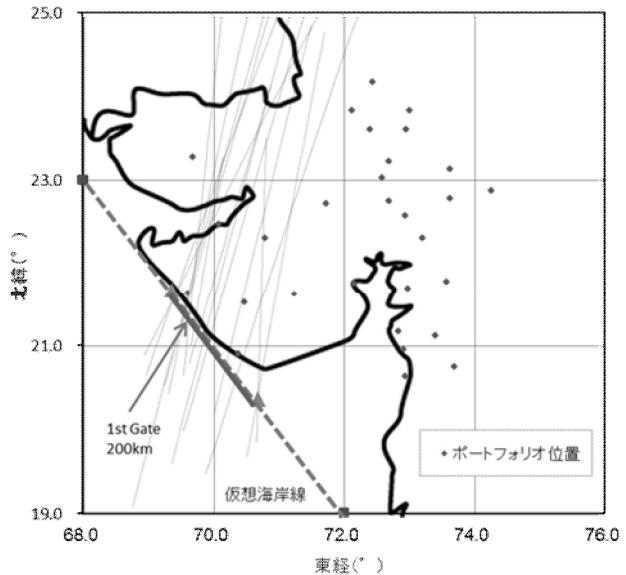


図 6 ポートフォリオの非集中地域を通過するサイクロンの例

ここでポートフォリオの集中している地域を通過するサイクロンを効率良く選択するために、図 7 に示すような 2 つ目のゲート設定を検討する。1 つは従来の仮想海岸線を通過するゲート（1st ゲート）であるが、これに平行にポートフォリオの集中する内陸部に 2 つ目のゲート（2nd ゲート）を設定する。この 2 つのゲートを通過するサイクロンのみを選択し、リスク移転効率の変化を調べることとした。更に 2 つ目のゲートは図 8 のように内陸から仮想海岸線方向に等間隔で位置を変化させた。1st ゲートから最も離れた内陸側の 2nd ゲートを No.1 とし、1st ゲートに重なる 2nd ゲートを No.10 と設定した。図 9 に 2nd ゲートによるリスク低減額とリスク移転効

率との関係を示す。図9に示したように2ndゲートの設定により過補填、補填不足領域の両方をバランス良く選択もしくは排除することでリスク移転効率は改善するが、排除したサイクロンの中には補填不足領域のものも含まれることから、2ndゲートの設定により1stゲートのみを設定した場合よりも $\Delta PML$ は低減する傾向にあることが判る。なお、リスクヘッジヤーにとってはリスク移転効率のみでなく、必要とする $\Delta PML$ の絶対額を達成することも重要であることから、ゲート設定においては目標とする $\Delta PML$ とリスク移転効率の両方を加味した設定が必要である。1stゲートのみで必要な $\Delta PML$ の絶対額とリスク移転効率を求めるよりも、2ndゲートを設けることでポートフォリオに応じたサイクロンのトラック制御が可能となるため、 $\Delta PML$ 低減量をある程度、維持しつつ、リスク移転効率を向上させることが可能である。

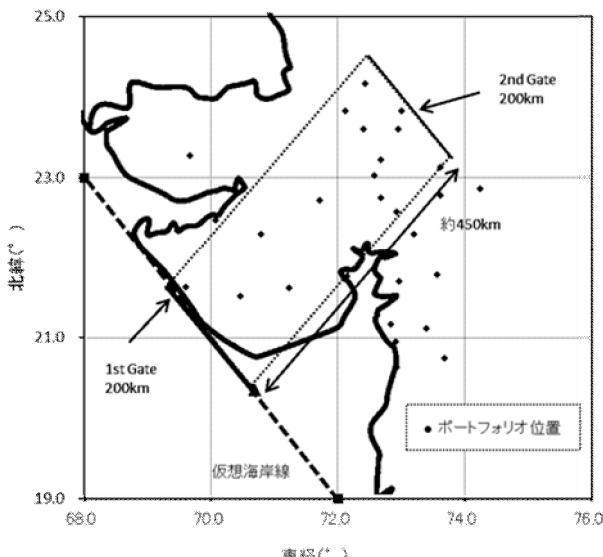


図7 ポートフォリオとゲートの位置関係

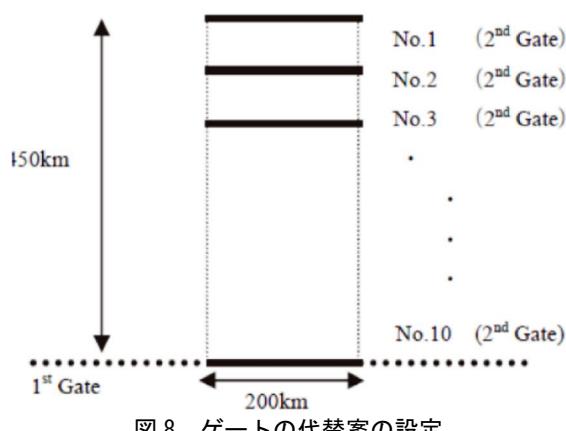


図8 ゲートの代替案の設定

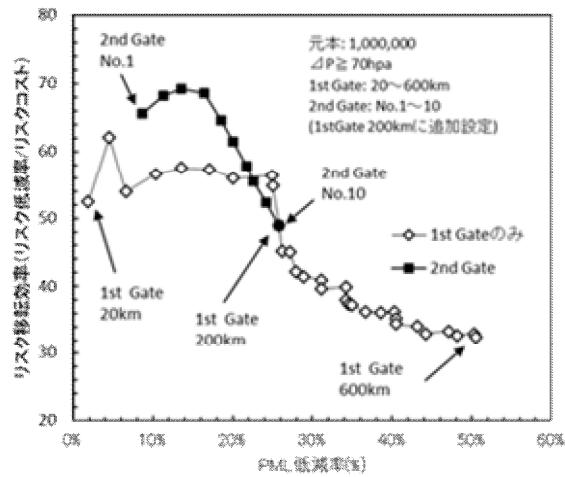


図9 2ndゲート設定によるリスク移転効率とPML低減率

## 6.まとめ

本研究では、インドのグジャラート州周辺におけるサイクロンリスクをパラメトリック・トリガーによるリスク証券化により低減させる手法を活用し、サイクロン通過地点周辺に設定したゲート、元本、中心気圧差等の諸パラメータの変化により、リスク移転の効率性、すなわちリスクヘッジヤーが充当したリスクコストによるPMLの低減効果について検討した。また、リスクティカーからの補填額と実損失との差であるベースリスクとリスクコストとの関係について考察し、以下の知見を得られた。

- 1) リスク移転効率を高めるためには、設定元本および $\Delta p$ を低く設定する必要があるが、一方でPMLを大きく低減させることは期待できない。
- 2) 高いPML低減率を確保するためにゲートの大きさや設定元本を大きくすると、リスク移転効率は低下する。
- 3) 設定元本の大きさが異なっている場合でも、ゲートや $\Delta p$ の大きさの設定次第で、同等の効率のリスク移転を実施することが可能である。
- 4) ポートフォリオ集積地周辺を通過したサイクロンのみを選択するよう2つ目のゲートとして2ndゲートを追加設定することで、ポートフォリオに応じたサイクロンのトラック制御、すなわち2ndゲートを通過しない、すなわちポートフォリオ集積地を通過しない過補填となるサイクロンを排除し、更にリスク移転効率を高めることが可能である。

## 参考文献

- 1) 渡部弘之、矢代晴実、福島誠一郎：インドにおけるサイクロンリスク解析のための確率モデルの基礎研究、日本建築学会環境系論文集第621号、pp.83-90, 2007.11
- 2) Anand S.Arya: Recent developments toward earthquake risk reduction in India, pp1270-1277, Current Science, Vol.79, No.9, 2000.10